第38卷 第5期
2021年9月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 38 No. 5
Sep. 2021

1961—2018年新疆区域高温变化与环流和海温关系

张太西， 樊 静， 李元鹏， 余行杰
（新疆气候中心，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要：利用1961—2018年4—9月新疆气象台站实测日最高气温资料、NCEP再分析资料以及大西洋海温资料，对新疆区域高温（≥35 ℃）的日数、初终日、强度等变化特征及与高空环流、大西洋海温关系进行了分析。结果表明：在气候“增暖增湿”背景下新疆高温日数显著增多。在这一情势下，高温的极端性在增多、增强，表现在极高温（T_{max}≥40 ℃）发生的日数占比显著增多，一般高温（37 ℃＞T_{max}≥35 ℃）发生的日数占比呈下降趋势；极高温站数增多，北扩至北疆偏北的阿勒泰地区。全疆高温日初日呈提前、高温日终日呈推后态势，高温日在春季、初秋增多成为高温变化的显著特征。新疆高温日数的增多趋势与高空异常环流密切相关，当赤道大西洋海表温度偏高将有利于南亚高压控制巴尔喀什湖至蒙古国区域，使得新疆区域高温日数偏多。

关键词：高温日数；高温强度等级；高温日初日；高温日终日；大气环流；大西洋海温；新疆

IPCC第五次气候变化评估报告等[1-2]指出，全球正在经历一次以地表平均气温持续升高为主要特征的气候变化过程，20世纪50年代以来全球大部分陆地极端最高气温显著上升，高温热浪频次有增加趋势，并且这种增加趋势将持续影响整个21世纪。1951—2018年中国地表年平均气温上升速率为0.24 ℃·(10a)$^{-1}$，进入21世纪这种增暖进一步加剧。近年来在气候变暖的背景下，我国高温热浪的频率愈发频繁，且更为持久[3-4]。王国复[5]、Ding[6]、高荣[7]、张芳华[8]等认为，我国单次区域性高温过程最大影响范围呈明显扩大趋势，夏季高温热浪频发，极端高温事件频繁发生，灾害的影响越来越严重；王鹏祥等[9]认为西北地区年极端高温事件发生频次表现为增加趋势，与区域性增暖呈显著的正相关。陈颖等[10]研究认为，我国大部分地区极端高温日数的增加趋势显著，但突变点有所差异；高温事件不仅导致严重干旱，给生态植被及农业生产带来很大危害，也对水利、工矿企业等行业的生产活动以及人类健康造成很大影响。

新疆作为极端高温地区之一，高温事件具有影响范围广、持续时间长、爆发强度大和发生早、结束晚的特点，且最高气温突破历史极值频繁发生[11-12]。新疆地域辽阔，植被地貌复杂多样，“三山夹两盆”地形高低落差大，北疆年高温日数以及极端最高气温主要受垂直地带性和纬度地带性控制，气候的区域性特征极强[13-14]。新疆哈密[15]、鄯善[16]等地20世纪90年代中期以后高温天气频次明显增多且强度增强，年际变化更为剧烈。如2017年7月10日吐鲁番最高气温达49.0 ℃，吐峪沟景区自动站观测最高气温达到50.5 ℃，刷新了我国观测到的最高气温记录[17]。

对于极端高温的成因国内学者做了许多研究。Gao等[18]研究认为，在北半球极端高温低频变化与大西洋几十年涛动密切相关；Ding等[19]研究了1981—2017年中国北方夏季高温与前冬、春季北大西洋海表温度异常的关系，认为横跨大西洋和欧洲的异常链可以将中国北部夏季的高温天气与北大西洋联系起来；钱永甫等[20]认为，盛夏南亚高压有两类平衡态——青藏高压和伊朗高压，当为伊朗高压类时，高压中心及其西北区气温偏高；杨辉等[21]也发现，当西印度洋和东太平洋海温距平为负，东印度洋—西太平洋海温距平为正，南亚高压偏强，位置偏西偏北。雷杨娜等[22]研究表明，ENSO、赤道印度洋和西太平洋暖池海温，可以通过影响西太平

收稿日期：2020-11-23； **修订日期**：2021-06-06
基金项目：自治区自然科学基金（2021D01B83）；中国气象局气候变化专项（CCSF202015）
作者简介：张太西（1964-），男，高级工程师，主要从事气候与气候变化研究. E-mail: 1546219074@qq.com
通讯作者：樊静. E-mail: Fanjing365@126.com

洋和东亚地区大气环流而影响我国夏季高温日数频次。陈磊等[23]研究认为，当西北地区出现大范围极端高温事件时，100 hPa南亚高压强度偏强并北移至西北地区上空；陈颖等[24]研究认为，当南亚高压偏强且南亚高压中心位置偏北时，有利于新疆夏季高温日数偏多。

以往的研究多揭示夏季高温日数等的空间分型的异常特征，对于成因也多偏重从夏季高温过程、大气异常环流及外强迫因子（如海温）的影响。但从气候变化的角度，分析新疆区域高温日数突变、高温强度、高温日初日终日等特征变化以及高温变化与大西洋海温关系的很少，本文就针对上述问题进行分析研究，进一步揭示气候变暖背景下新疆区域高温变化规律，为应对气候变化提供理论参考。

1　资料和方法

1.1　资料

利用新疆气象信息中心提供的1961—2018年新疆105个国家气象观测站逐日地面最高气温资料，对资料缺测和台站迁站等问题进行了质量控制，最终选取了经过严格质量控制的79个台站的逐日地面最高气温资料进行分析。常年值采用现有气候业务中1981—2010年30 a平均气候标准值。

本文所用的高空200 hPa位势高度场格点数据为美国环境预报中心（NCEP）再分析资料，水平分辨率为2.5°×2.5°，空间范围为10°~70°N、40°W~160°E，时间范围为1961—2018年4—9月；大西洋海温资料来自国家气候中心（http://cmdp.ncc-cma.net/cn/index.htm），水平分辨率为2.5°×2.5°，空间范围为20°S~60°N、100°W~20°E，时间范围为1961—2018年4—9月。

1.2　资料处理和方法

文中高温指日最高气温≥35 ℃的天气现象。将单站日最高气温≥35 ℃定义为1个高温日；按照《区域性高温天气过程等级划分》（QX/T 228-2014）对单站高温强度的分级，将37 ℃ > T_{max}≥35 ℃、40 ℃ > T_{max}≥37 ℃、T_{max}≥40 ℃分别定义为一般高温日、强高温和极高温。高温日初日指每年第1次出现最高气温≥35 ℃的初始日期；高温日终日指每年最后1次出现最高气温≥35 ℃的结束日期。

单站高温强度综合指数 *SI*：对每县高温强度三级日数逐年（1980—2019年）进行求和统计为 $x_{i,j}$，得到79县、三级强度的日数矩阵 $X_{m\times x}$；由公式（1）进行无量纲处理，则得各县三级高温强度无量纲化矩阵 $T_{m\times x}$：

$$t_{i,j} = \frac{x_{i,j} - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \tag{1}$$

式中：$i = 1, 2, 3$；$j = 1, 2, \cdots, n$；$n = 79$；$x_{i,j}$、$t_{i,j}$ 分别为第 i 级高温强度、第 j 个县的高温强度日数和高温日数无量纲数；$x_{i\max}$、$x_{i\min}$ 为各县第 i 级高温强度最大值和最小值。

利用式（1）计算逐年高温日数无量纲数 $t_{i,j}$，然后对 $t_{i,j}$ 作升序排列，采用百分位数法确定每个站的 *SI* 的取值区间，分为Ⅰ[95%，100%]、Ⅱ[85%，95%)、Ⅲ[60%，85%)、Ⅳ(60%，0]、Ⅴ(无)5级。

本文中逐年高温日数、平均气温等要素的变化趋势等采用了线性分析，突变检验用MK法[25]，高空200 hPa位势高度场、大西洋海温的相关分析等均依据数理统计方法[26]进行分析。

200 hPa位势高度与新疆区域高温日数的相关分析，先算出1961—2018年200 hPa位势高度场格点数据值（4—9月平均值）与12000位势米（gpm）之差的距平矩阵 $I_{m\times n}$，再与同期新疆高温日数进行相关分析和信度检验，得到位势高度相关分布；选取与位势高度相关系数最高的区域即巴尔喀什湖至新疆北部，构建巴尔喀什湖高度指数 I_{BK}。则有：

$$I_{ACC} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(I_{i,j} - 12000) \tag{2}$$

$$I_{BK} = (\bar{I}_{ACC} - \bar{I}_{mean})/STD(I) \tag{3}$$

式中：$I_{i,j}$ 为[40°~50°N, 10°~90°E] 200 hPa位势高度场格点值；$i = 1, 2, \cdots, m$；$j = 1, 2, \cdots, n$；m，n 为格点数；$\bar{I}_{ACC}$ 为格点的区域平均值；$\bar{I}_{mean}$ 为1961—2018年区域平均值；$STD(I)$ 为标准差。

大西洋海温与巴尔喀什湖高度指数的相关分析，先算出1961—2018年大西洋海温场格点数据值（4—9月平均值）与巴尔喀什湖高度指数序列进行相关分析和信度检验，得到大西洋海温相关分布。选取与大西洋海温相关系数最高的区域，构建大西洋海温指数 I_{ALT}，则有：

$$I_{ATL} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(T_{i,j} - \bar{T})/STD(T) \tag{4}$$

式中：$T_{i,j}$ 为[EQ~10°N; 10°~90°W]大西洋海温格点

数据累计值；$i=1, 2, \cdots, m$；$j=1, 2, \cdots, n$；m，n 为格点数；$\bar{T}$ 为区域内海温平均值；$STD(T)$ 为标准差。

2 结果分析

2.1 高温日数变化特征

2.1.1 时间变化特征 新疆区域年高温日数呈显著增加趋势(图1a)。1961—2018年4—9月，高温日数以0.76 d·(10a)$^{-1}$增幅增加，并通过了α=0.05的信度检验；年高温日数在1996年以前最大值不超过18 d·a^{-1}，且63.9%的年份小于常年值(14.5 d·a^{-1})；1997年以后，85.7%的年份新疆年高温日数高于常年值，最多年份达21.9 d(1997年)。对比高温日数与同期平均气温、降水量的变化趋势和相关性(图1a，图1b)可以看出，新疆区域年高温日数与平均气温的相关系数达到0.75并通过了α=0.05的信度检验，而其与同期降水的相关性较低未能通过显著性检验，进一步说明新疆区域年高温日数增多与气候变暖呈正相关。

2.1.2 空间变化特征 全疆65个(84%)台站的年高温日数均呈增加趋势，且南疆站点的增幅大于北疆。吐鲁番市、哈密市以及环塔里木盆地周边等区域的37站均呈显著增加趋势(通过α=0.05的信度检验)(图1c)；吐鄯托盆地、巴州南部、哈密市伊州区和伊吾县淖毛湖镇等地增加速率最明显，为3~5 d·(10a)$^{-1}$，伊吾县淖毛湖镇增多趋势最大为5.0 d·(10a)$^{-1}$，且末次之为4.9 d·(10a)$^{-1}$。博州的阿拉山口、克拉玛依市、石河子地区莫索湾及塔里木盆地北缘局部共计14站(13%)呈减少趋势，未通过显著性检验。

新疆区域高温日数的增多，使得新疆区域高温分布异常明显，吐鄯托盆地年平均高温日数多达60 d以上(图2)，其中高昌区达102 d·a^{-1}为最多，托克逊县和鄯善县分别达97 d·a^{-1}、74 d·a^{-1}为第二、三位。博州阿拉山口、石河子炮台、昌吉蔡家湖、哈密市伊州区和伊吾县淖毛湖镇、巴州若羌县等8站高温日数在30~55 d·a^{-1}；北疆沿天山大部、塔里木盆地周边高温日数在11~30 d·a^{-1}之间；北疆北部、伊犁河谷、巴州北部、阿克苏北部等地海拔较高、纬度偏北的站点高温日数在10 d以内。同时，新疆区域年高温日数分布最多的站点也是高温日数增加趋势最显著的区域，分析高温日数与海拔高度的相关性，发现随着海拔高度降低高温日数呈指数显著增加($y=1350.2e^{-0.034x}$，$r=0.71$，$\alpha=0.05$)。

2.1.3 突变分析 对1961—2018年新疆区域高温日数呈增加趋势的65站进行突变检验分析后发现(图3)，其中，有43站(66%)的高温日数出现了突变，从20世纪60年代年起，上述各站高温日数的突变时间是一个随着年代际渐变增速的过程，尤其是在90年代，新疆高温日数发生突变的站点数量增幅最大(表1)；1990年以前，高温日数发生突变的站点多生在北疆，之后多发生在南疆，特别是在吐鄯托盆地等。

2.2 高温日初日、终日变化

2.2.1 变化趋势 鉴于1990年前后高温日数的差异和之后突变发生的明显增多，我们将其分为1990年前后2个时段，对高温日初日和高温日终日进行分析(图4a，图4b)发现，高温日初日的概率密度在1990年前后在夏季的峰值是一致的，但在1990年之

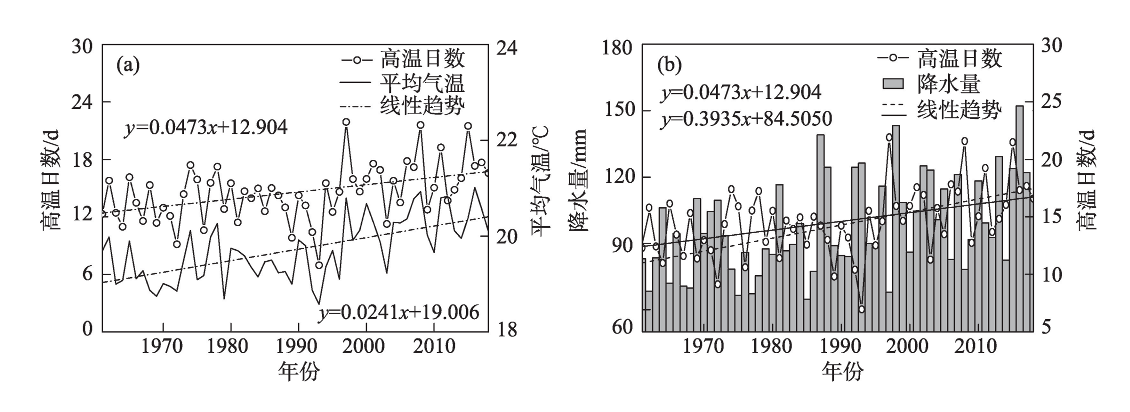
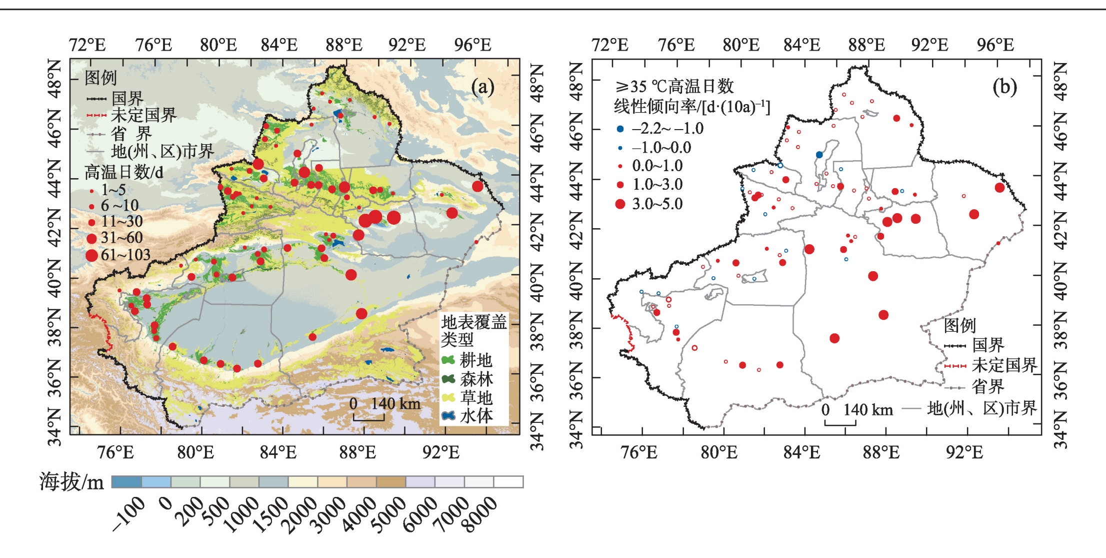


图1 1961—2018年4—9月新疆年高温日数与同期平均气温(a)和降水量变化趋势(b)

Fig. 1 Changes of heatwave days (daily maximum temperature ≥35 ℃), mean temperature (a) and precipitation (b) in Xinjiang from 1960 to 2018



注:以审图号为GS(2017)3320号的标准底图制作,底图无修改。下同。实心点表示通过0.05信度检验。

图2 1961—2018年新疆区域年平均高温日数(a)和高温日数变化趋势(b)空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of mean annual high temperature days (a) and trend of high temperature days (b) in Xinjiang region from 1961 to 2018

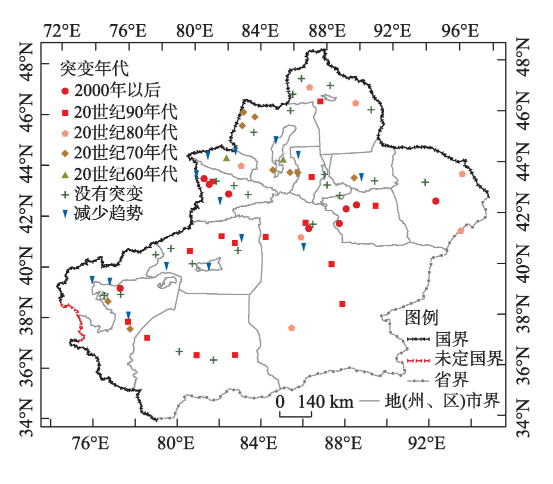


图3 1961—2018年新疆高温日数增加站点突变时间空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of abrupt transition years of heatwave days in Xinjiang

后高温日初日在4月下旬、5月中旬的概率密度有2个明显跃升,在7月中旬至8月下旬概率密度明显偏低,尤其5月中旬出现新波峰有别于1990年之前概率密度分布;高温日终日的概率密度在1990年前后分布明显不对称,1990年之后概率密度波峰从8月中旬移相到8月下旬,且至9月下旬密度偏高明显,高温日终日推迟明显。

同时对逐年高温日初日、终日的变化趋势进行分析表明(图略),全疆共有53(67%)站的高温日初日呈提早趋势,其中,和静站初日提早速率最大达11.4 d·(10a)$^{-1}$,焉耆、福海等站提早速率在5~8 d·(10a)$^{-1}$,其余站点的提早速率均在5 d·(10a)$^{-1}$以内;26(33%)站的高温日初日呈推晚趋势,这些站点主要分布在北疆北部、伊犁河谷和阿克苏北部。63站(79%)高温日终日呈推后趋势,其中,青河县推后速率最大达21.6 d·(10a)$^{-1}$,木垒县次之。全疆共有16站(21%)的高温日终日呈提前趋势,主要分布在巴州北部和阿克苏北部。全疆共有37(41.6%)个站点同时出现高温日初日提前和终日推后现象,但仅有23个台站通过α=0.05的信度检验,说明其变化仍有很大不确定性。

2.2.2 高温日最早初日、最晚终日时空分布变化

对比1990年前后新疆区域高温日最早初日出现的时间可以看到(图5a、图5b),1990年以前最早高温日初日在4月中旬出现,仅有吐鲁番地区的高昌区和托克逊,之后增加了鄯善、哈密市淖毛湖、巴州若

表1 新疆不同年代际高温日数发生突变站点数量

Tab. 1 Number of stations with abrupt changes in the number of high temperature days in different decadal periods in Xinjiang

	1961—1970年	1971—1980年	1981—1990年	1991—2000年	2001—2018年
突变站数	2	9	7	15	9

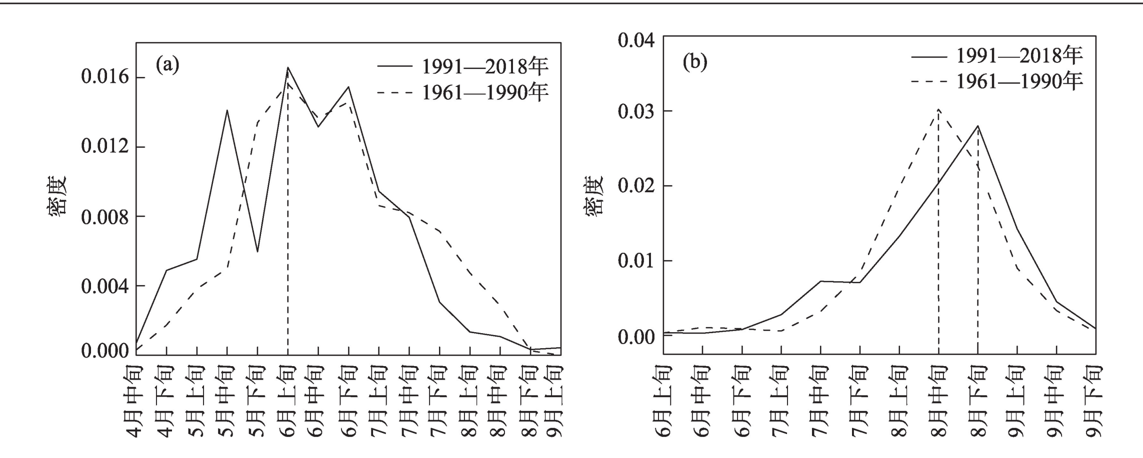


图4 1961—2018年新疆高温初日(a)和终日(b)出现日期的概率密度函数分布

Fig. 4 Probability density function distribution of the first (a) and last (b) days of high temperature in Xinjiang during 1961–2018

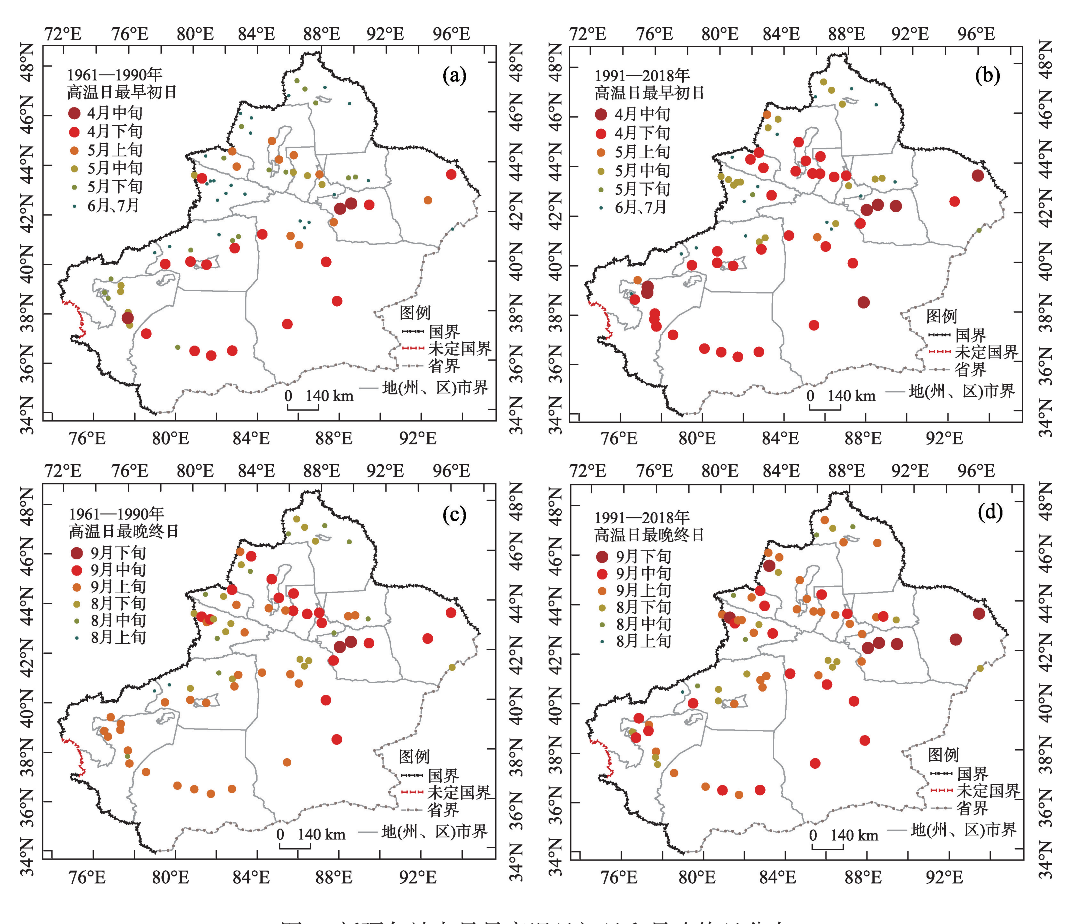


图5 新疆各站点最早高温日初日和最晚终日分布

Fig. 5 Distribution chart of the first and last high temperature day at various stations in Xinjiang

羌和岳普湖、伽师。南疆环塔里木盆地多数站点以及乌鲁木齐市以西的北疆沿天山一带最早高温日初日均出现在4月下旬，尤其北疆沿天山一带均提早了1~2旬，变化极为明显。北疆偏北地区及伊犁河谷的很多站点，1990年以前最早高温日初日出现在5月下旬，现在均提早到5月中旬，这与前面分析高温日初日在5月中旬出现峰值概率密度相吻合。

由图5c和图5d可知，最晚高温日终日在1990年之前，南疆多数站均出现在9月上旬，北疆沿天山一带多数站点出现在9月中旬，仅吐鲁番高昌区、托克逊2站出现在9月下旬。1990年之后，最晚高温日终日出现在9月中旬，南疆增多北疆减少；北疆多数站点尤其北疆偏北的阿勒泰地区高温日终日最晚，从8月中、下旬推迟到9月上旬；最晚高温日终

日出现在9月下旬的站点有,哈密市伊州区、伊吾县淖毛湖镇、伊犁霍城县、塔城裕民县等地,均在东疆及北疆而没有出现在新疆更偏南的地区。

2.3 高温强度变化

2.3.1 不同等级高温年际变化　对比3级高温日数和占比年际变化发现(图6):一般高温日数在显著增多[0.34 d·(10a)$^{-1}$]的情况下,其占比多在60%上下波动性减少;强高温日数也显著增多[0.26 d·(10a)$^{-1}$],其占比年际波动多在31%起伏,变化趋势不明显;极高温日数虽增多幅度[0.15 d·(10a)$^{-1}$]最小,其占比数也少,但占比却呈增加趋势,尤其是2003年以后增加趋势更加显著,且大于常年值,2017年极高温日数占比达到最大(15.6%),约为常年值的2倍。同时对比一般高温与强高温、极高温占比发现波峰、波谷反位相明显,说明了高温强度在增强,极高温日数在增多。如2017-07—05-16出现的大范围极端高温事件,有34站超过40 ℃,吐鲁番(49.0 ℃)、托克逊(48.8 ℃)等10站最高气温突破历史极值。

2.3.2 不同等级高温强度空间分布　由图7可以看出,1961—1990年,新疆共有45站出现过≥40 ℃的高温天气,其中,高温强度等级较强的区域主要分布在吐鄯托盆地、北疆沿天山一带、巴州南部和哈密市,纬度较高的阿勒泰地区无一站出现过≥40 ℃的高温天气。1991—2018年,新疆出现过≥40 ℃高温的站点明显增多(56站),较1961—1900年增加了11站。从空间分布来看,1991—2018年,新疆能够出现≥40 ℃高温天气站点的纬度由46°N北扩至48°N附近,阿勒泰地区在这一时段中共有3站出现了≥40 ℃的高温天气。此外,1991—2018年,新疆的高温强度等级较1961—1990年明显增强,哈密市和巴州南部地区的强度等级由III级增强至II级,巴州东南部地区及和田地区的强度等级由IV级增强至III级。

2.4 高温日数与高空高度场、大西洋海温的相关分析

2.4.1 高空高度场相关性与巴尔喀什湖指数的构建

极端事件的发生常与大气环流的异常发展密切相关,新疆区域高温日数的增多必然和对流层中高层大气环流的异常配置有关。因此选择欧亚范围200 hPa位势高度场作为研究主体,分析新疆区域高温日数与之的相关性可知(图8),200 hPa上从大西洋上空(10°~40°N)至俄罗斯远东地区(40°~60°N)有西南—东北向的纬向正相关带,并有2个显著(α=0.01)的正相关区域,1个在大西洋至北非西北部区域、1个在里海以东至俄罗斯远东区域;里海以东至

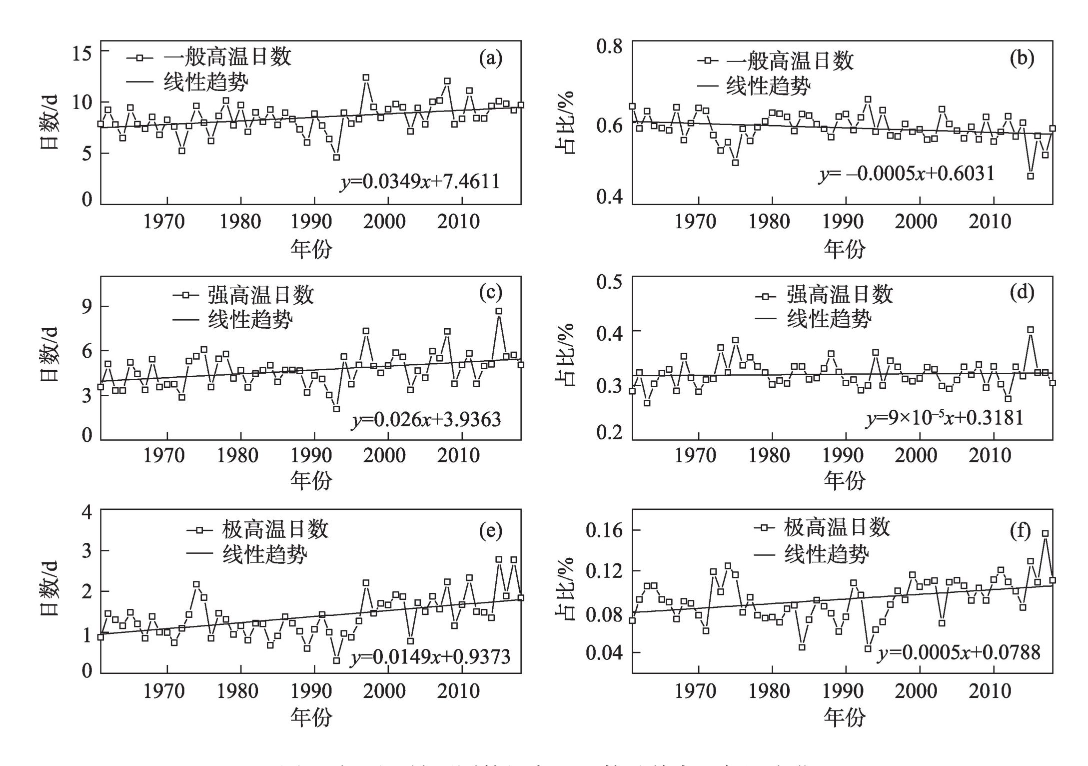


图6　新疆区域不同等级高温日数及其占比年际变化

Fig. 6　Portion changes of moderate, strong and extreme heatwaves in Xinjiang from 1961 to 2018

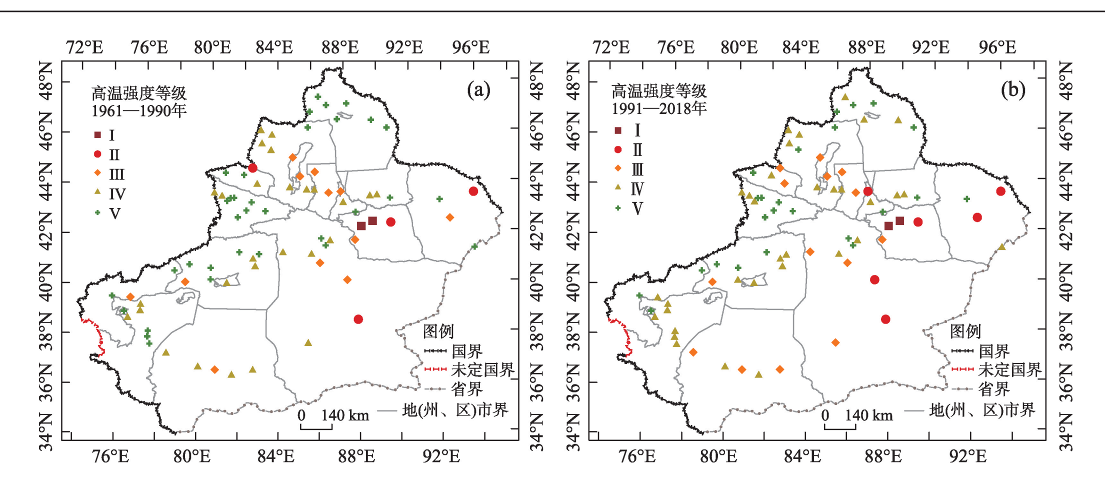
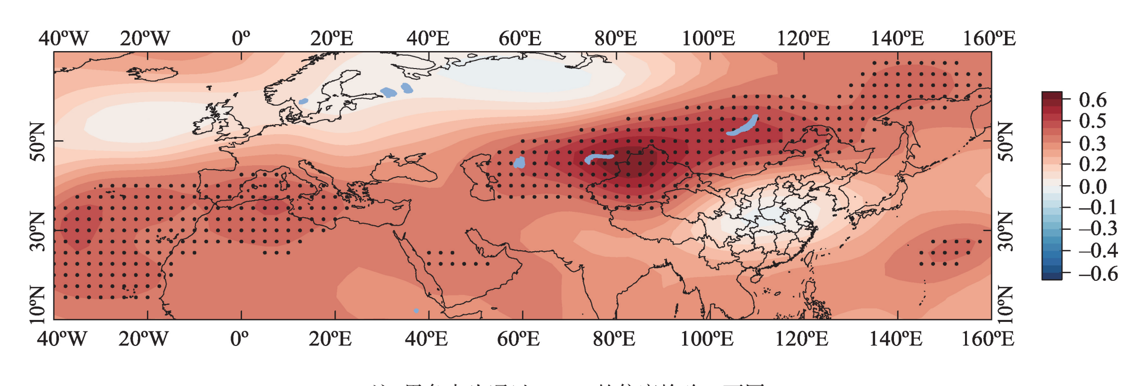


图7　新疆≥40 ℃高温天气强度等级的空间分布

Fig. 7　Spatial distribution of high temperature weather (≥40 ℃) intensity grades in Xinjiang



注：黑色点为通过α=0.01的信度检验。下同。

图8　1961—2018年新疆高温日数与4—9月200 hPa位势高度场相关系数

Fig. 8　The spatial distribution of correlation coefficient between heatwave days in Xinjiang(maximum temperature ≥ 35 ℃) and the geopotential height at 200 hPa

蒙古国区域位势高度的偏高，可能是200 hPa单一控制系统南亚高压偏西偏北的结果。

为进一步证实这一区域的位势高度偏高与新疆高温日数的关系，选择巴尔喀什湖至北疆最大相关系数区域(40°~50°N、70°~90°E)构建1961—2018年巴尔喀什湖高度指数序列，与年高温日数变化对比，两者增多趋势且位相一致(图9a)，并显著相关(r=0.58，α=0.05)，说明新疆区域高温日数增多与该区域高空位势高度异常偏高增多关系密切，这与钱永甫等[20]研究夏季南亚高压为西部型，使中国西北地区高温干旱较为一致；也与陈磊等[23]研究的南亚高压的中心较常年偏北偏强，西北地区出现大范围极端高温事件相吻合。

2.4.2　巴尔喀什湖指数与大西洋海温的相关关系　为了解大西洋海温与新疆区域高温变化的大气环流相关性。通过巴尔喀什湖高度指数与同期大西洋海温相关分析发现，在大西洋赤道地区附近0°~10°N，10°~40°W之间存在一个相关系数达0.4以上显著正相关海温区域(图10)。由公式(4)建立1961—2018年大西洋赤道海温指数序列，此指数与巴尔喀什湖指数变化趋势一致(图9b)，两者显著相关(r=0.55，α=0.01)；尤其是2003年以来海温指数偏高，巴尔喀什湖指数也偏高，说明当大西洋赤道以北附近海温升高时，将影响大西洋至北非西北纬向区域高压的形成，并向下游传递，有利于巴尔喀什湖至蒙古国区域位势高度的异常偏高，使得新疆区域的高温日数增多。

3　结论与讨论

新疆区域气候变暖增湿背景下，高温日数呈显著的增加趋势[0.76 d·(10a)$^{-1}$]，高温日数在1997年之后明显增加。新疆区域内84%台站的年高温日数呈增加趋势，南疆增幅大于北疆，塔里木盆地东

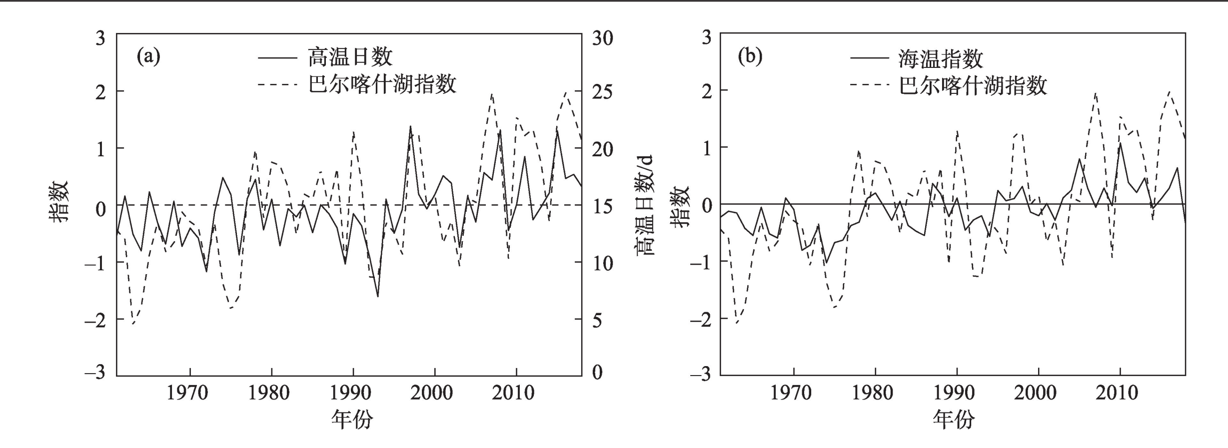


图9　1961—2018年巴尔喀什湖指数与高温日数(a)、大西洋海温指数(b)变化趋势

Fig. 9　Changes of Balkhash index with heatwave days (a) and Atlantic SST index (a) from 1961 to 2018

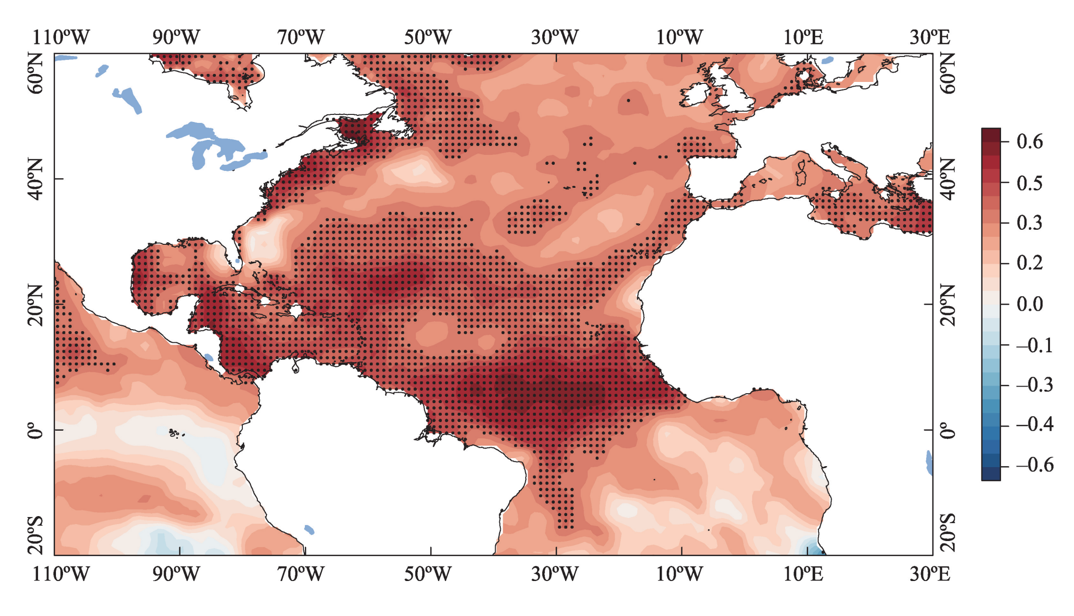


图10　巴尔喀什湖指数与大西洋海温的相关关系

Fig. 10　The spatial distribution of correlation coefficient between Balkhash index and SST anomalies

部、吐鲁番、哈密等地既是高温多发地也是高温日数增加最显著地区。从新疆区域各站的高温日数突变检验来看，突变时间并不是同时发生，是渐变过程，突变先从北疆开始，1990年之前突变主要出现在北疆，之后突变以南疆为主，尤其20世纪90年代突变站点突增。当然有部分台站高温日数呈减少趋势，对数据进行复核，翻阅台站变迁，了解周边环境的变化，猜测可能与台站周边环境植被改变有关，其相关性需做更精细的研究；对于相邻台站高温日数发生突变时间相差较大，或部分站并没有发生突变，仍需进一步探究其原由。

高温日在春季提早出现并增多、在初秋推迟出现也增多是高温变化的显著特征。全疆有67%的站高温日初日出现提前，1990年前后高温日初日出现的概率密度在5月中旬至4月中旬增多、7月中旬至8月下旬概率密度减少，高温天气在春季发生的概率在增多，这与4月高温日数在各月增加速率最显著为4.9 d·$(10a)^{-1}$（图略）相吻合；同时79%站高温日终日推后，1990年前后高温日终日出现的概率密度的峰值由8月中旬移到8月下旬，9月出现的概率密度增大，说明高温天气推迟到初秋出现在增多。全疆有37站(46.8%)同时出现高温初日提前、终日推后，说明全疆高温日初日呈提前、高温日终日呈推后态势，使得高温日发生的时间在变长，同步性在增强。

高温的极端性进一步增强，并出现在北疆北部

较高纬度。一般高温、强高温和极高温3种等级的高温日数均呈增多趋势;一般高温日数占比最多,但呈下降趋势;极高温日数占比最少,但呈显著增加;一般高温年占比与强高温、极高温总体上呈对应的反向关系,极高温增加更加明显;极高温的等级强度在南疆、东疆的等级上升,尤其是极高温的站数1990年之后较之前增加24.4%,且极高温北扩之北疆北部阿勒泰地区,进一步反映了新疆区域气候变暖后高温极端性趋于增多、增强。应该指出的是新疆区域高温增多、增强的复杂成因仍需进一步研究。

新疆高温日数的增多趋势与高空异常环流密切相关。高温日数与大西洋至欧亚范围内高空位势高度场在大西洋上空(10°~40°N)至亚洲远东地区(40°~60°N)有西南—东北向的纬向正相关带,其中200 hPa相关系数最大区域的巴尔喀什湖及周边与年高温日数增多趋势一致,这一区域位势高度的偏高(低)影响新疆高温日数偏多(少)。同时这一区域与大西洋赤道地区附近海温(0°~10°N)存在显著相关,表明当这一海域海温升高时,有利于南亚高压控制巴尔喀什湖至蒙古国区域,造成新疆区域的高温日数偏多。

致谢:感谢国家气候中心的陆波和新疆气象台杨霞提供了一些有益的意见。

参考文献(References):

[1] 中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书(2019)[M]. 北京: 科学出版社, 2019: 4-5. [China Meteorological Administration Climate Change Centre. Blue Book on Climate Change in China 2019[M]. Beijing: Science Press, 2019: 4-5.]

[2] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis by IPCC WG I[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 2-3.

[3] 方茸, 杨修群. 中国夏季高温与北极海冰的联系特征[J]. 气象, 2009, 35(3): 81-86. [Fang Rong, Yang Xiuqun. Sunmmer maximum air temperature variability in China and its association with the Arctic Sea Ice concentration[J]. Meteorological Monthly, 2009, 35(3): 81-86.]

[4] 聂羽, 韩振宇, 韩荣青, 等. 中国夏季热浪持续天数的年际变化及环流异常分析[J]. 气象, 2018, 44(2): 294-303. [Nie Yu, Han Zhenyu, Han Rongqing, et al. Interannual variation of heat wave frequency persistence over China and the associated atmospheric circulation anomaly[J]. Meteorological Monthly, 2018, 44(2): 294-303.]

[5] 王国复, 叶殿秀, 张颖娴, 等. 2017年我国区域性高温过程特征及异常大气环流成因分析[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(4): 341-349. [Wang Guofu, Ye Dianxiu, Zhang Yingxian, et al. Characteristics and abnormal atmospheric circulation of regional high temperature process in 2017 over China[J]. Climate Change Research, 2018, 14(4): 341-349.]

[6] Ding T, Gao H, Li W Jing. Extreme high-temperature event in southern China in 2016 and the possible role of cross-equatorial flows[J]. International Journal of Climatology, 2018, 38(9): 3579-3594. https: //doi.10.1002/joc.5518.

[7] 高荣, 王凌, 高歌. 1956-2006年中国高温日数的变化趋势[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(3): 177-181. [Gao Rong, Wang Ling, Gao Ge. The trend of variation in high temperature days during 1956-2006 in China[J]. Climate Change Research, 2008, 4(3): 177-181.]

[8] 张芳华, 陶亦为, 高辉, 等. 2018年春末南方极端持续高温及MJO影响[J]. 大气科学学报, 2019, 42(1): 100-108. [Zhang Fanghua, Tao Yiwei, Gao Hui, et al. Persistent extreme high temperature event in southern China in late spring of 2018 and the effect of Madden-Julian Oscillation[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2019, 42(1): 100-108.]

[9] 王鹏祥, 杨金虎. 中国西北近45 a来极端高温事件及其对区域性增暖的响应[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 649-655. [Wang Pengxiang, Yang Jinhu. Extreme high temperature events and response to regional warming in recent 45 years in Northwest China [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(4): 649-655.]

[10] 陈颖, 张灵, 千怀遂. 华南地区近53 a极端高温日数的变化特征及其区域差异[J]. 热带地理, 2016, 36(4): 692-699, 726. [Chen Ying, Zhang Ling, Qian Huaisui. Variation characteristics and spatial diferences of extremely high temperature days over South China during the recent 53 years[J]. Tropical Geography, 2016, 36(4): 692-699, 726.]

[11] 毛炜峄, 陈鹏翔, 沈永平, 等. 气候变暖背景下2015年夏季新疆极端高温过程及其影响[J]. 冰川冻土, 2016, 38(2): 291-304. [Mao Weiyi. Chen Pengxiang, Shen Yongping, et al. Characteristics and effects of the extreme maximum air temperature in the summer of 2015 in Xinjiang under global warming[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(2): 291-304.]

[12] 张俊兰, 罗继, 王荣梅. 近20 a新疆升温融雪(冰)型洪水频次时空变化及大气环流型分析[J]. 干旱区研究, 2021, 38(2): 339-350. [Zhang Junlan, Luo Ji, Wang Rongmei. Combined analysis of the spatiotemporal variations in snowmelt(ice) flood frequency in Xinjiang over 20 years and atmospheric circulation patterns[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(2): 339-350.]

[13] 张连成, 张太西, 毛炜峄, 等. 新疆区域高空气温变化特征分析[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 133-143. [Zhang Liancheng, Zhang Taixi, Mao Weiyi, et al. Analysis of the upper-air temperature change in Xinjiang region[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(1): 133-143.]

[14] 辛渝, 陈洪武, 李元鹏, 等. 新疆北部高温日数的时空变化特征

及多尺度突变分析[J]. 干旱区研究, 2008, 25(3): 438-446. [Xin Yu, Chen Hongwu, Li Yuanpeng, et al. Analysis on the spatio temporal change and multi-scale abrupt change of high temperature days in North Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2008, 25(3): 438-446.]

[15] 苗运玲, 卓世新, 李如琦, 等. 新疆哈密高温气候特征及其环流形势分型[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(2): 38-43. [Miao Yunling, Zhuo Shixin, Li Ruqi, et al. The high temperature climate characteristics and its circulation situation analysis in Hami[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2015, 9(2): 38-43.]

[16] 宋良娈, 宋水华, 苗运玲. 新疆鄯善县近55年高温天气气候特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2017, 6(4): 253-259. [Song Lianggluan, Song Shuihua, Miao Yunling. The high temperature climate characteristics of Xinjiang Shanshan in the past 55 years[J]. Climate Change Research Letters, 2017, 6(4): 253-259.]

[17] 樊静, 刘精, 段均泽, 等. 新疆气候公报及影响评价(2017)[R]. 乌鲁木齐: 新疆气候中心, 2017. [Fan Jing, Liu Jing, Duan Junze, et al. Climate Bulletin and Impact Assessment of Xinjiang(2017)[R]. Urumqi: Xinjiang Climate Centre, 2017.]

[18] Gao M, Yang J, Gong D, et al. Footprints of Atlantic multidecadal oscillation in the low-frequency variation of extreme high temperature in the Northern Hemisphere[J]. Journal of Climate, 2019, 32 (3): 791-802. https: //doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0446.1.

[19] Ding Ting, Yuan Yuan, Gao Hui, et al. Impact of the North Atlantic sea surface temperature on the summer high temperature in Northern China[J]. International Journal of Climatology, 2020, 40 (4): 2296-2309.

[20] 钱永甫, 张琼, 张学洪. 南亚高压与我国盛夏气候异常[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2002, 38(3): 99-110. [Qian Yongfu, Zhang Qiong, Zhang Xuehong. The South Asian high and its effects on China's mid-summer climate abnormality[J]. Journal of Nanjing University(Natural Science Edition), 2002, 38(3): 99-110.]

[21] 杨辉, 李崇银. 热带太平洋—印度洋海温异常综合模对南亚高压的影响[J]. 大气科学, 2005, 29(1): 99-110: [Yang Hui, Li Chongyin. Effect of the tropical Pacific-Indian Ocean temperature anomaly mode on the South Asia high[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005, 29(1): 99-110.]

[22] 雷杨娜, 龚道溢, 张自银, 等. 中国夏季高温日数时空变化及其环流背景[J]. 地理研究, 2009, 28(3): 653-662. [Lei Yangna, Gong Daoyi, Zhang Ziyin, et al. Spatial-temporal characteristics of high-temperature events in summer in eastern China and the associated atmospheric circulation[J]. Geographical Research, 2009, 28 (3): 653-662.]

[23] 陈磊, 王式功, 尚可政. 中国西北地区大范围极端高温事件的大气环流异常特征[J]. 中国沙漠, 2011, 31(4): 1052-1058. [Chen Lei, Wang Shigong, Shang Kezheng. Atmospheric circulation anomalies of large-scale extreme high temperature events in Northwest China[J]. Journal of Desert Research, 2011, 31(4): 1052-1058.]

[24] 陈颖, 邵伟玲, 曹萌, 等. 新疆夏季高温日数的变化特征及其影响因子[J]. 干旱区研究, 2020, 37(1): 58-66. [Chen Ying, Shao Weiling, Cao Meng, et al. Variation of summer high temperature days and its affecting factors in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(1): 58-66.]

[25] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493. [Fu Congbin, Wang Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change[J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1992, 16(4): 482-493.]

[26] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第二版. 北京: 气象出版社, 2007. [Wei Fengying. Statistical Diagonsis and Prediction Technology of Modern Climate[M]. 2nd Ed. Beijing: China Meteorological Press, 2007.]

Heatwave changes and the potential causes in Xinjiang from 1961 to 2018

ZHANG Taixi, FAN Jing, LI Yuanpeng, YU Xingjie
(Xinjiang Climate Center, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: Given the background of global warming, heatwave changes have attracted considerable attention: High temperature events not only cause severe drought, which greatly harms ecological vegetation and agricultural production, but also have a substantial effect on the production activities of water conservancy, industrial and mining enterprises, and human health: Xinjiang is one of the areas in China with a high incidence of extreme high temperature, and there have been frequent extreme high temperature events in this area in recent years: These events in Xinjiang have the characteristics of a wide range of influence, long duration, high outbreak intensity, and an early start and a late finish: The daily maximum temperature data are used to ascertain the heatwave changes in Xinjiang based on the quality-controlled station data from April to September of 1961 to 2018: Moreover, the NCEP reanalysis data and the sea surface temperature observations are employed to understand the potential reasons for heatwave changes: We have taken the temperature from 1981 to 2010 as the climatic mean: Our findings reveal that there was a significant increase in the number of heatwave days in Xinjiang under the local warming and wetting climate: This increase was more pronounced for extreme heatwaves ($T_{max} \geqslant 40$ °C), whereas we found a decreasing trend for the occurrence of moderate heatwaves (37 °C > $T_{max} \geqslant 35$ °C): We found that the first heatwave is beginning earlier than previously (mid-April at the earliest), and the last heatwave is finishing later than before (late September at the latest): The increase of heatwave is most pronounced in April; however, it makes a limited contribution to the total heatwave change: In North Xinjiang, the abrupt transition occurs earlier than does that in South Xinjiang: We further show that there is a strong correlation between circulation changes and the heatwave days in Xinjiang: When the 200 hPa geopotential height over Balkhash Lake and its surrounding areas is higher (lower) than normal, the number of heatwave days in Xinjiang is larger (smaller): The variation of 200 hPa geopotential height over Balkhash Lake and its surrounding areas can be traced back to anomalies in the sea surface temperature (SST) in the equatorial Atlantic: The South Asian High would control a larger area, from Balkhash Lake to Mongolia , when the equatorial Atlantic SST is higher, which could result in more heatwave days in Xinjiang: As the reasons for the delay of the initial high temperature of some stations with reduced high temperature days in Xinjiang and the mechanism of influence of SST on high temperature events in Xinjiang remain unclear, the above problems require further study.

Keywords: heatwave days; heatwave strength grade; the first day of heatwave; the last day of heatwave; atmospheric circulation; Atlantic SST; Xinjiang